

# Simulación LES de flujos turbulentos: el clásico ejemplo del flujo alrededor de un cilindro

## *Large Eddy Simulations of turbulent flows: the classic case of a flow over a cylinder*

(Recepción 31/01/2018; Aceptación 09/04/2018)

Ramos, P.X.<sup>1</sup>; Bento, A.M.<sup>2,3</sup> e Pêgo, J.P.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ghent University, Hydraulics Laboratory Sint-Pietersnieuwstraat 41, 9000 Ghent, Belgium.

<sup>2</sup>Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia, R. Roberto Frias, 4200 Porto, Portugal.

<sup>3</sup>Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Portugal.

Teléfono: +320489963637

Email: pedro.ramos@ugent.be

**Resumen.** Durante las últimas 4 décadas, el crecimiento en la potencia computacional permitió el progreso en el modelo Large Eddy Simulations (LES) para flujos turbulentos. En este artículo, estudiamos el flujo turbulento alrededor de un cilindro, en dos etapas de erosión distintas. Tenemos en cuenta los fundamentos conceptuales de LES y los principios utilizados en su aplicación. Se utilizan datos experimentales para la validación de los resultados de este caso clásico de estudios de CFD (acrónimo del inglés *Computational Fluid Dynamics*).

**Palabras clave.** Large Eddy Simulation, turbulencia, Computational Fluid Dynamics

**Abstract.** During the last 4 decades, the growth in computational power enabled the substantial progress in the development of Large Eddy Simulations (LES) for turbulent flows. In this paper, we develop two independent simulations of the flow around a cylinder. We take into account the conceptual foundations of LES, the principles used in its application and, additionally, experimental data is used for the validation of the results in THIS classic case of CFD (*Computational Fluid Dynamics*) studies.

**Keywords.** Large Eddy Simulation, turbulence, Computational Fluid Dynamics.

## 1. Introducción

La aplicación de técnicas numéricas al estudio de los flujos, que habitualmente se conocen como técnicas CFD (acrónimo del inglés *Computational Fluid Dynamics*), aporta una descripción del flujo en estudio, permitiendo visualizar y comprender el patrón de flujo que aparece en ríos, canales y aplicaciones industriales. El flujo alrededor de un cilindro circular es un fenómeno muy complicado y ha sido objeto de interés de muchos estudios en mecánica de fluidos, tanto numéricos como experimentales. El presente artículo ha sido concebido con el objetivo de reunir las principales etapas de una simulación numérica del flujo alrededor de un cilindro usando el modelo Large Eddy Simulation (LES). En este documento se describe las directrices para buscar y discriminar información relevante para implementar herramientas CFD en y obtener resultados válidos para lo estudio del flujo y erosión alrededor de un pilar cilíndrico.

## 2. Metodología computacional

La herramienta elegida, *Ansys Fluent*, utiliza el método de volúmenes finitos para resolver las ecuaciones LES correspondientes (Rodi et al. 2013). En este caso, las simulaciones se llevan a cabo en dos etapas. En primer lugar, se efectúa una simulación para obtener una solución fluidodinámica del flujo

con un fondo plano (configuración A). Luego, a través de una deformación del fondo, se puede simular el mismo flujo con una cavidad de erosión alrededor del mismo cilindro (configuración B). Con millones de celdas en cada una de las simulaciones, el empleo de estas herramientas es inviable si no se dispone de capacidad de cálculo en paralelo mediante *clusters* de ordenadores. En el presente trabajo fue utilizado el HPC *supercomputer* de la Ghent University.

## 3. Malla y condiciones de contorno

El dominio de interés (Fig. 1,  $D$  es el diámetro del cilindro) puede ser dividido en pequeños elementos (en este caso, 3 millones de celdas) cuya unión y continuidad forman una malla.

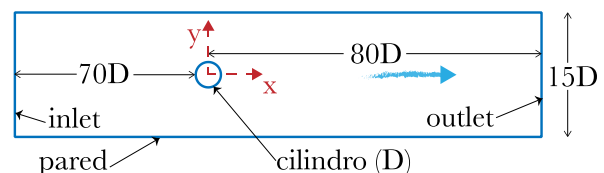


Figure 1. Dominio numérico (vista en planta).

Schindfessel et al. 2015 explican cómo crear una malla (Fig. 2) válida para la simulación de flujos turbulentos.

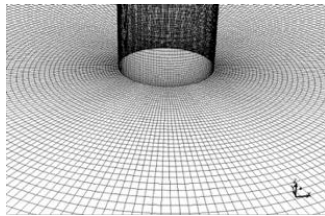


Figure 2. Malla (zona cercana do cilindro).

En las paredes, la condición de *no-slip* (es decir, velocidad nula) es empleada. Se ha usado una frontera rígida como la superficie del flujo de canal “abierto”. Esa simplificación es válida para situaciones en que  $\Delta h$ , Fig. 3 y Ecuación 1, no tiene un efecto apreciable (Rodi et al. 2013; Ramos et al. 2016), que se ocasiona por el bajo número de *Froude* ( $\Delta h/h < 10\%$ ).

$$\frac{\Delta h}{h} \approx \frac{Fr^2}{2} \quad (1)$$

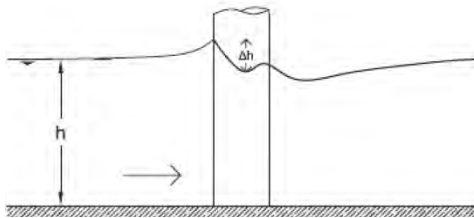


Figure 3. Deformación de la superficie (Ramos et al. 2016).

El *inlet* se define con una velocidad constante ( $V=0.286$  m/s, Nogueira et al. 2008). El *outlet* se define como *outflow*, fijando el valor de FRW (acrónimo del inglés *Flow Rate Weighting*) como 1. Con esto, se define que la totalidad del fluido debe salir por esta cara.

## 4. Validaciones y resultados

### 4.1 Verificaciones

Como condiciones iniciales se toma flujo potencial. La vorticidad es cero en todo el dominio. Por lo tanto, tenemos que descartar los primeros instantes de la simulación (Fig. 4, Schindfessel et al. 2015).

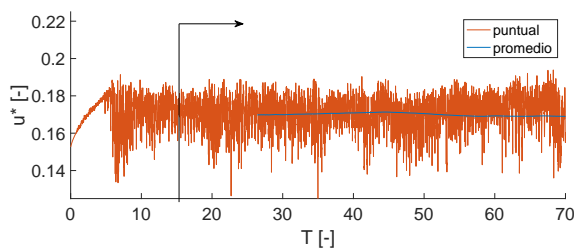


Figure 4. Velocidad en una celda.

Pope (2004) indica que una simulación LES debe tener, por menos, 80% de energía cinética turbulenta (TKE) solucionada en la malla (Fig. 5) y designa algunas directrices para su correcta verificación.

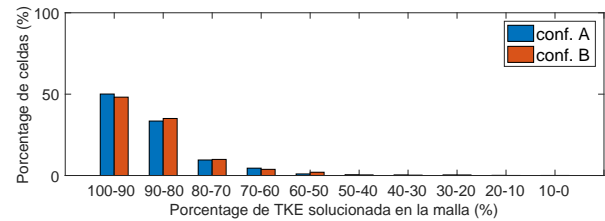


Figura 5. Porcentaje de TKE solucionada.

### 4.2 Validaciones

En este estudio, se han calculado dos de los parámetros más característicos del flujo: frecuencia de desprendimiento ( $f$ ) y coeficiente de arrastre ( $C_d$ ) (Tabla 1). Estas simulaciones, sin embargo, son costosas en términos de tiempo de CPU y también de tiempo real. Para reducir estos costos, se ha aplicado un sub-modelo para las zonas cercanas de las paredes del flujo. Por lo tanto, ahí es más sensible al error (Fig. 6). Los valores de velocidad están adimensionales (por la velocidad media del flujo,  $V=0.286$  m/s).

Tabla 1. Parámetros más característicos del flujo alrededor de un cilindro: configuración A vs. configuración B (Ramos et al. 2016).

	Númerico	Experimental	Teórico
$f$ [Hz]	1.10 / 1.09	1.15	1.19
$C_d$ [-]	0.602 / 0.455	-	0.683

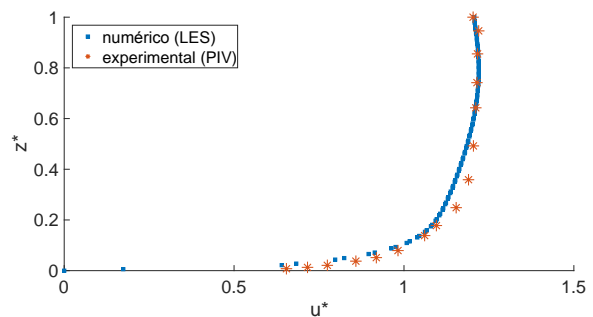


Figura 6. Perfil de velocidad (experimental - Nogueira et al. 2008).

### 4.3 Otros resultados

En el plano  $z^*=0.5$  (Fig. 7) se muestra la velocidad del flujo ( $z^*=z/h$ ).

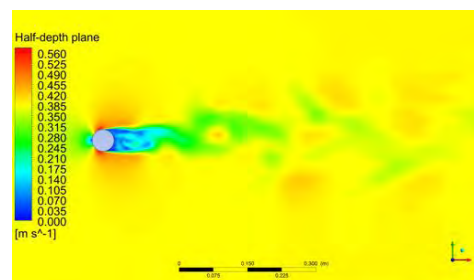


Figura 7. Velocidad (magnitud) del flujo.

Finalmente, en la imagen se observa el esfuerzo de corte del fondo del canal “abierto” en la

configuración A, simplemente para comparar si es que existe un mayor esfuerzo de corte en el fondo plano o en la configuración B.

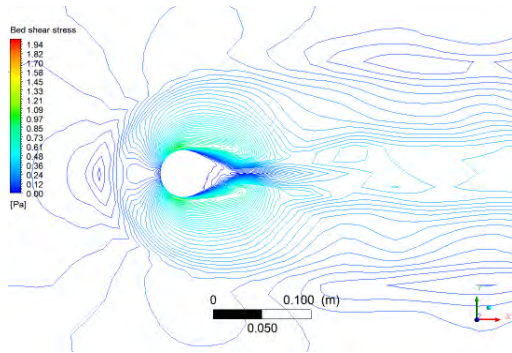


Figura 8. Esfuerzo de corte (*configuración A*).

## 5. Conclusiones

En este artículo, se ha demostrado que el método Large-Eddy Simulation puede aplicarse a los problemas de turbulencia y permite predecir y estudiar situaciones donde el flujo presenta un comportamiento particularmente complicado.

Basado en los resultados obtenidos y el posterior análisis a partir de ellos, se puede concluir que para el caso estudiado, la cavidad de erosión altera significativamente el coeficiente de arrastre y la frecuencia de desprendimiento de los vórtices.

El siguiente paso será añadir un modelo para el transporte de sedimentos y calcular el desarrollo de los lechos móviles con LES.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. Laurent Schindfessel (*UGent*) por sus esfuerzos al explicar cómo ha hecho sus simulaciones. A los autores les gustaría agradecer también al *HPC-UGent* y a Lía Cernega.

## Referencias

Nogueira, H., Franca, M., Adduce, C. and Ferreira, R. (2008). Bridge piers in mobile beds: visualization and characterization of the surrounding and approaching flows. Proc. River Flow 2008, Turkey, 2397-2406.

Pope, S. B. (2004). Ten questions concerning the large-eddy simulation of turbulent flow. New J. Phys., 6.

Ramos, P. X.; Maia, R.; Schindfessel, L.; De Mulder, T.; & Pêgo, J. P., (2016). "Large Eddy Simulation of the water flow around a cylindrical pier mounted in a flat and fixed bed" IJREWHS. Lubeck, Alemania.

Rodi, W., Constantinescu, G., & Stoesser, T. (2013). Large-eddy simulation in hydraulics. CRC Press.

Schindfessel, L., Creëlle, S., & De Mulder, T. (2015). Flow patterns in an open channel confluence with increasingly dominant tributary inflow. Water, 7(9), 4724-4751.